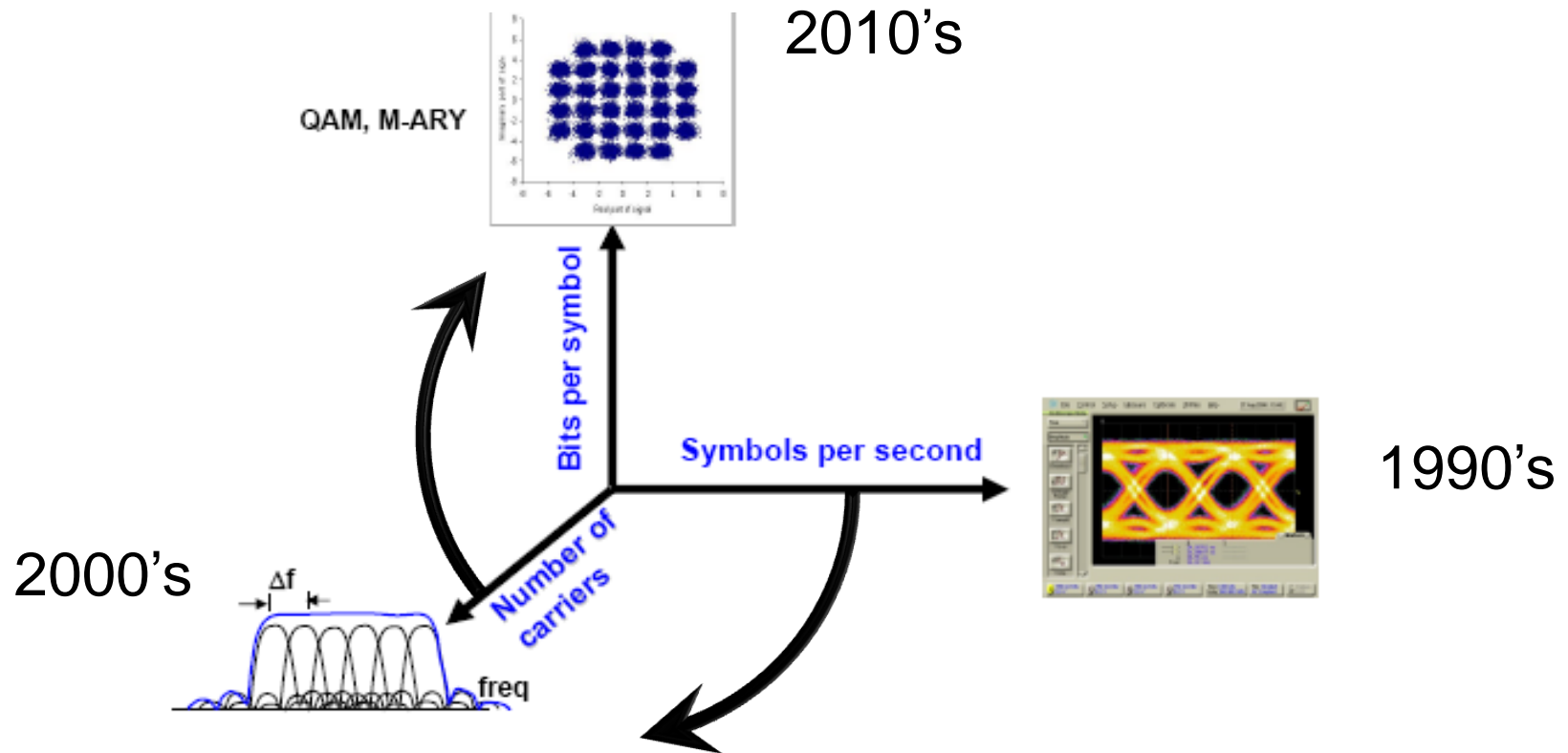
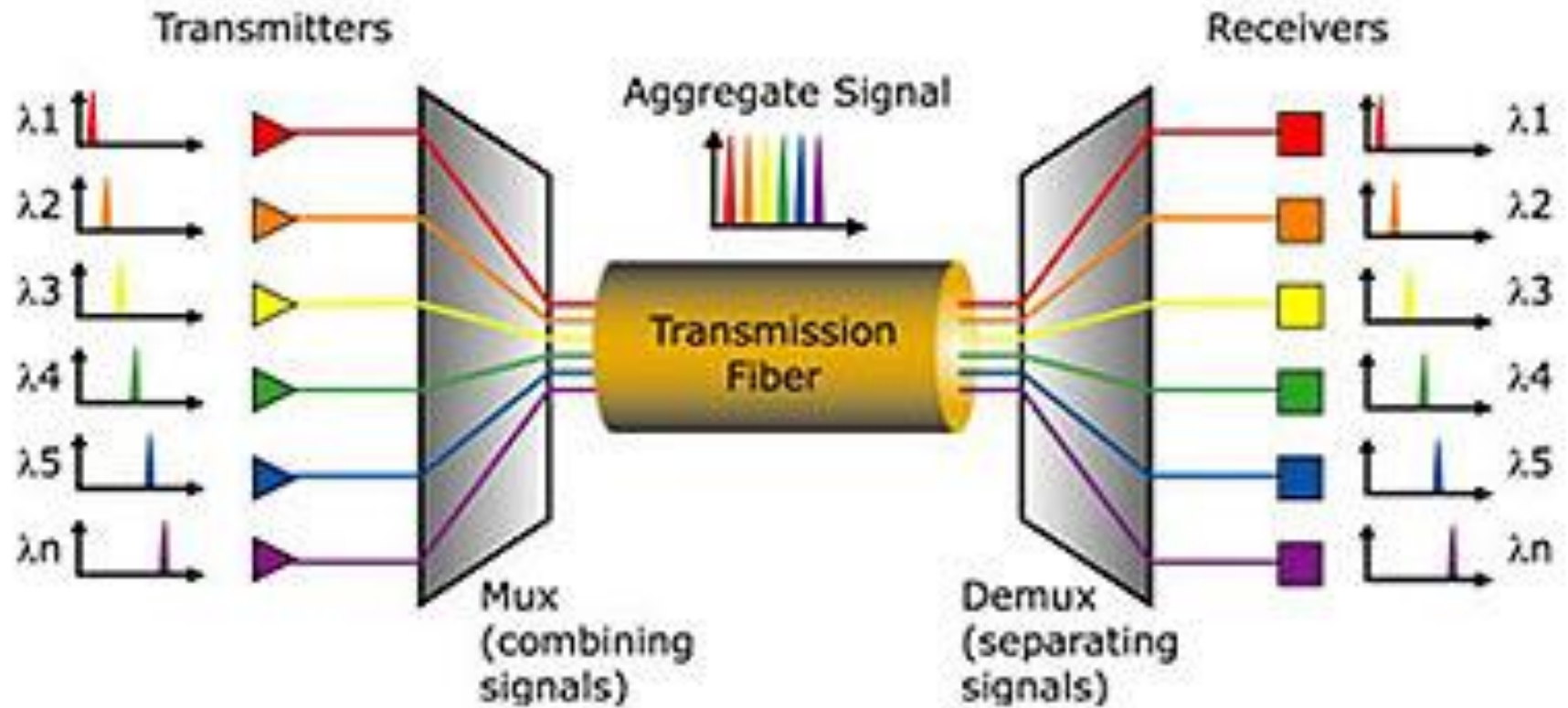


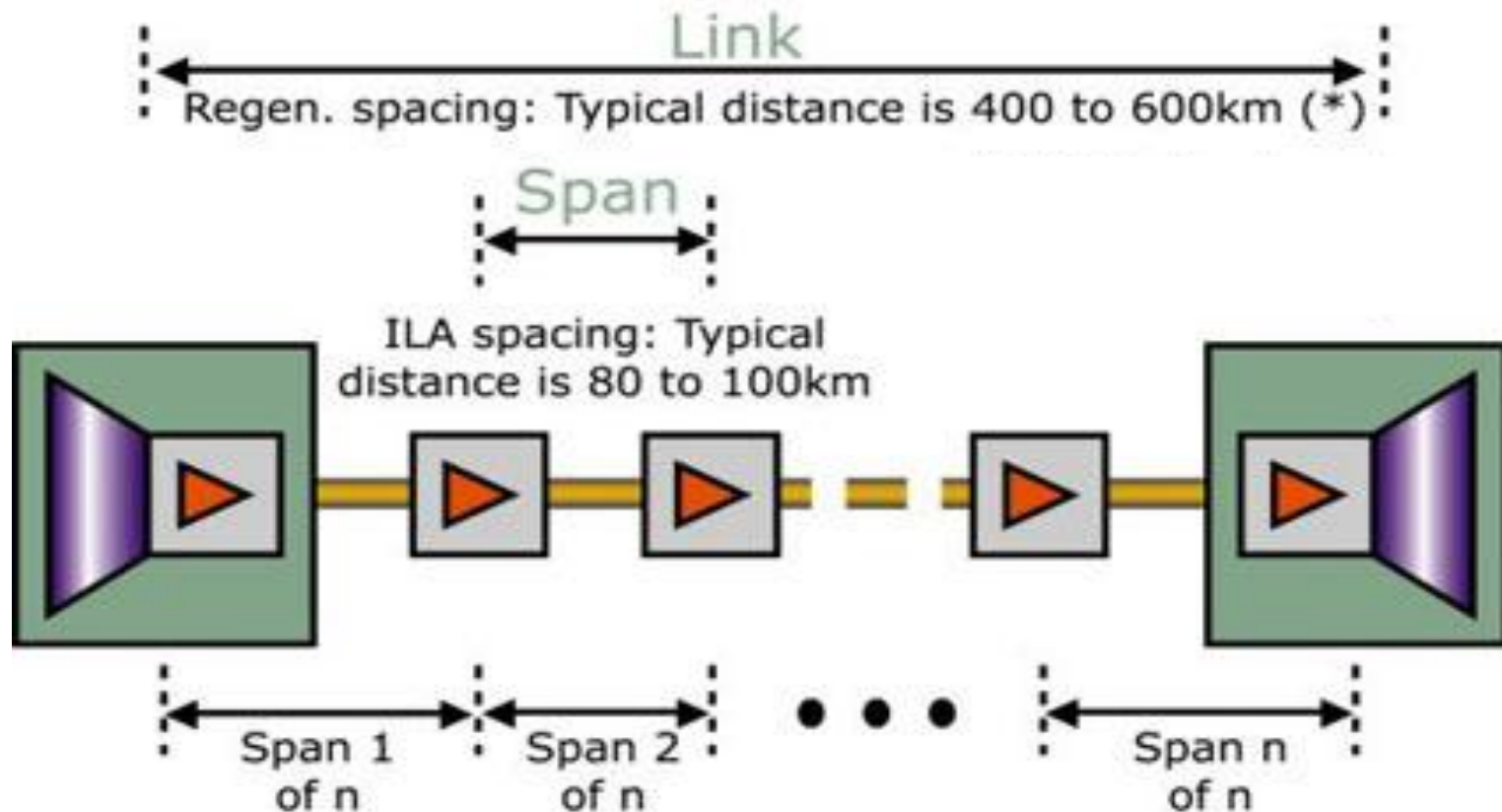
# *Como incrementar la velocidad?*



# DWDM



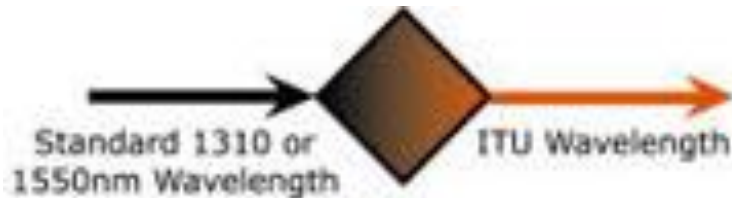
# Enlace DWDM



## Factores Críticos

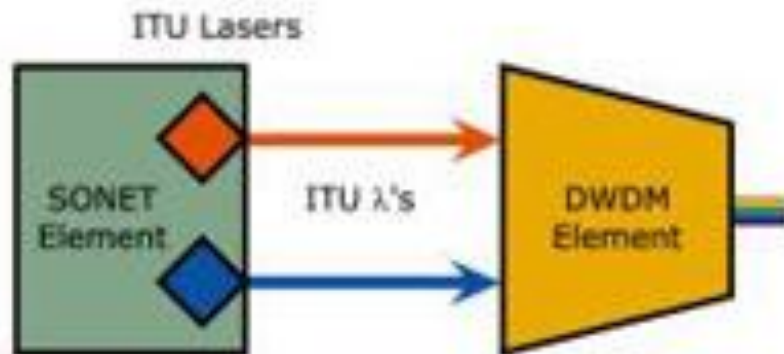
- *Potencia de los Amp*
- *Longitud del span*
- *Tipo de Fibra*
- *Número de canales*
- *Bit rate*

# *Transponder*

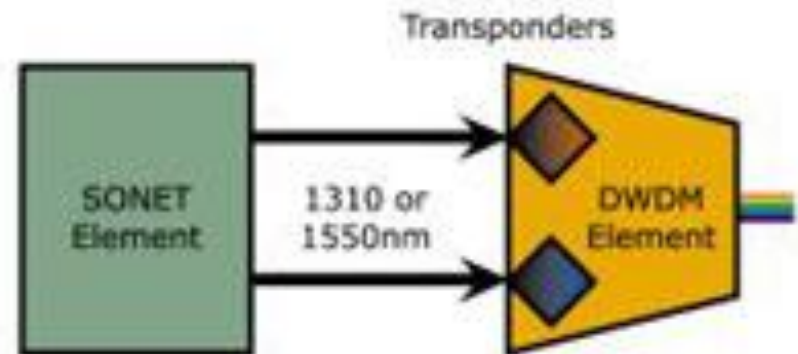


## Wavelength Adaptation

---



Embedded DWDM Operation  
(ITU Laser in SONET NE)



Open DWDM Operation  
(Transponder in DWDM NE)

# ***DWDM***

WDM Classification is based on the Channel spacing between 2 Wave lengths

Channel spacing  $> 200\text{GHz}$  is called CWDM

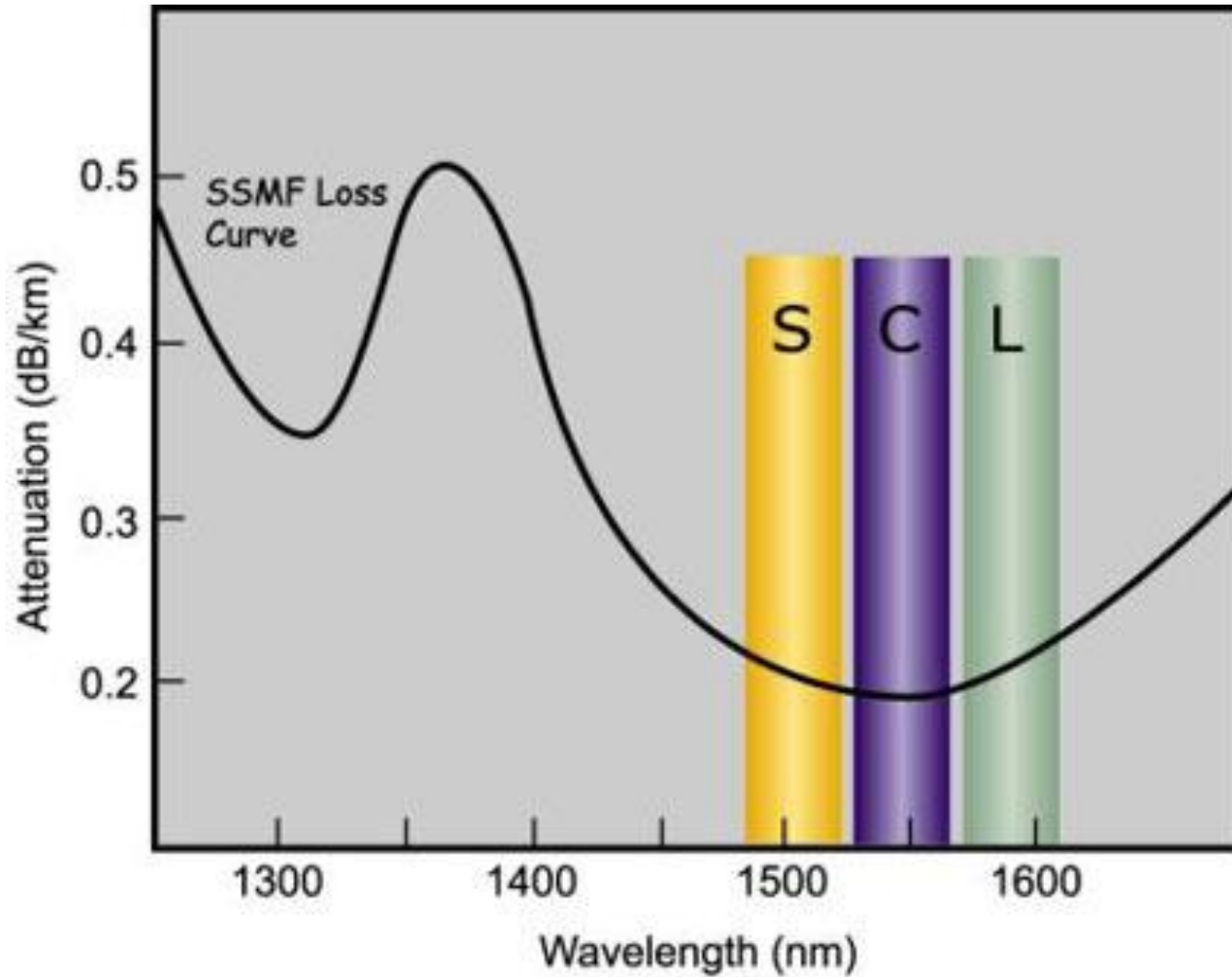
Channel spacing  $> 100\text{ GHz}$  is called WDM

Channel spacing  $< 100\text{GHz}$  is called DWDM

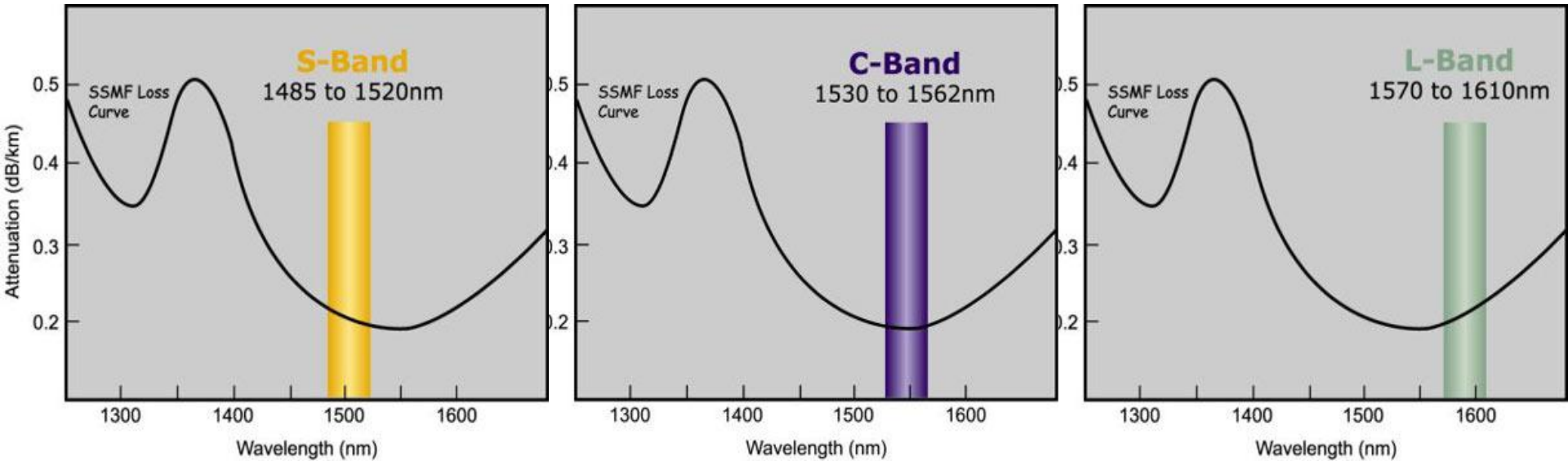
Channel spacing  $< 25\text{GHz}$  is called UDWDM

100 GHz is equal to 0.8 nm

# ***Bandas en DWDM***



# ***Bandas en DWDM***





# Plan de canales DWDM ITU

150 canales  
(canalización a  
100 GHz)

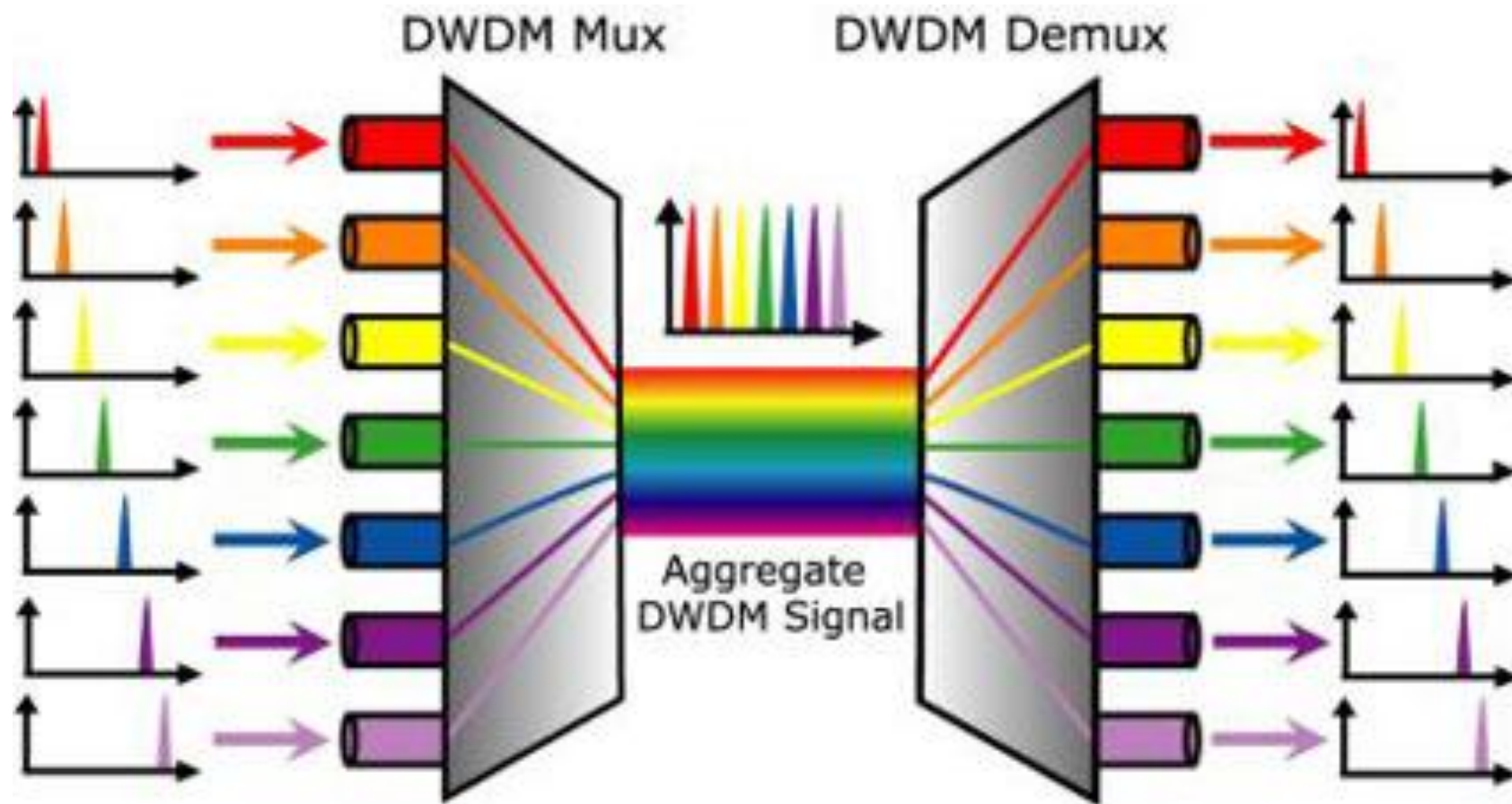
300 canales  
(canalización a  
50 GHz)

Table 1 - Standard ITU Wavelengths for DWDM 50 GHz, and 100 GHz Spacing

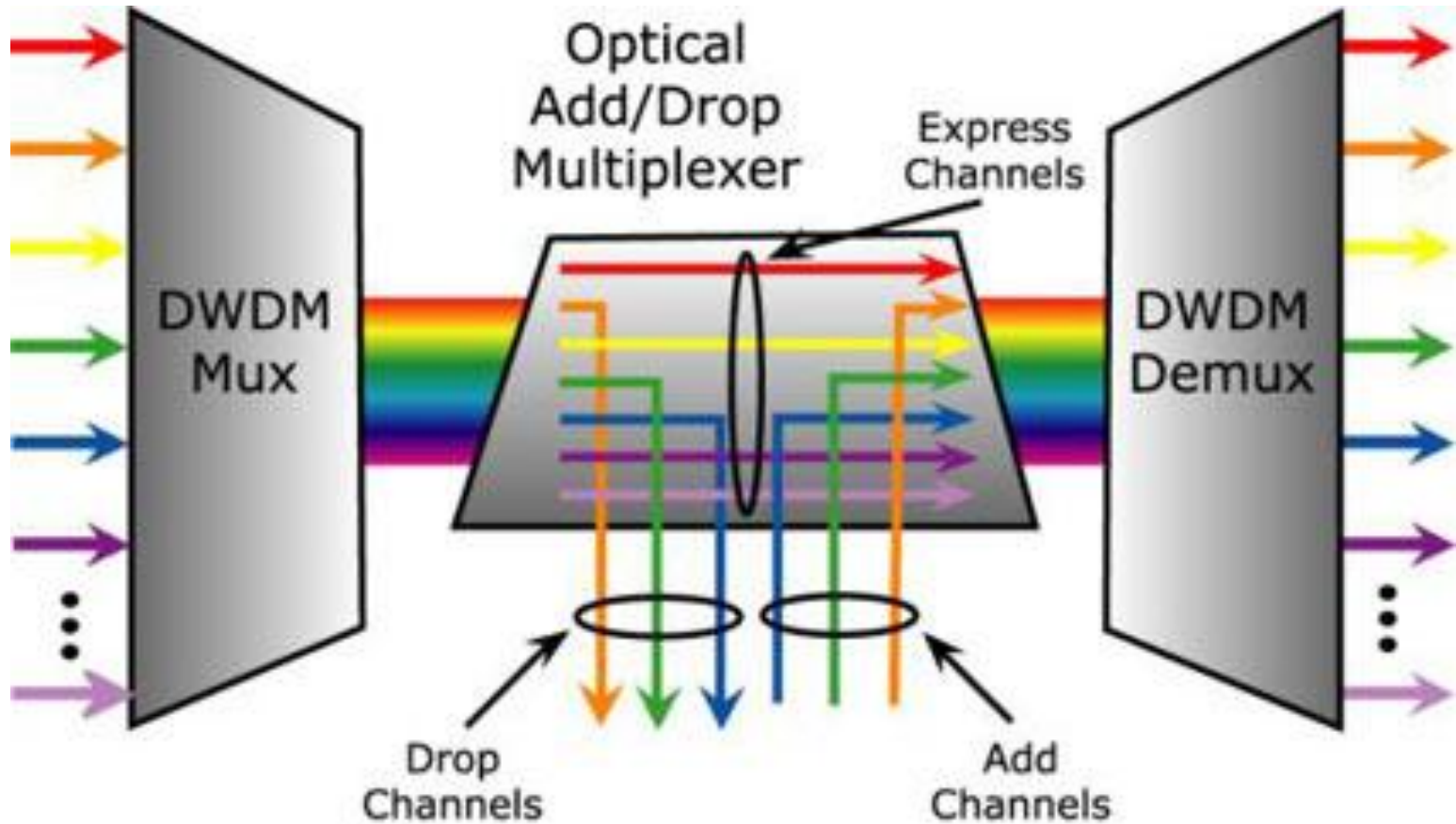
$L\alpha$		$I\beta$		$C\alpha$		$C\beta$		$S\alpha$		$S\beta$	
THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm
186.00	1611.79	186.05	1611.35	191.00	1569.59	191.05	1569.18	196.00	1529.55	196.05	1529.16
186.10	1610.92	186.15	1610.49	191.10	1568.77	191.15	1568.36	196.10	1528.77	196.15	1528.38
186.20	1610.06	186.25	1609.62	191.20	1567.95	191.25	1567.54	196.20	1527.99	196.25	1527.60
186.30	1609.19	186.35	1608.76	191.30	1567.13	191.35	1566.70	196.30	1527.22	196.35	1526.83
186.40	1608.33	186.45	1607.90	191.40	1566.31	191.45	1565.90	196.40	1526.44	196.45	1526.05
186.50	1607.47	186.55	1607.04	191.50	1565.50	191.55	1565.09	196.50	1525.66	196.55	1525.27
186.60	1606.60	186.65	1606.17	191.60	1564.68	191.65	1564.27	196.60	1524.89	196.65	1524.50
186.70	1605.74	186.75	1605.31	191.70	1563.86	191.75	1563.45	196.70	1524.11	196.75	1523.72
186.80	1604.88	186.85	1604.46	191.80	1563.05	191.85	1562.64	196.80	1523.34	196.85	1522.95
186.90	1604.03	186.95	1603.60	191.90	1562.23	191.95	1561.83	196.90	1522.56	196.95	1522.18
187.00	1603.17	187.05	1602.74	192.00	1561.42	192.05	1561.01	197.00	1521.79	197.05	1521.40
187.10	1602.31	187.15	1601.88	192.10	1560.61	192.15	1560.20	197.10	1521.02	197.15	1520.63
187.20	1601.46	187.25	1601.03	192.20	1559.79	192.25	1559.39	197.20	1520.25	197.25	1519.86
187.30	1600.60	187.35	1600.17	192.30	1558.98	192.35	1558.58	197.30	1519.48	197.35	1519.09
187.40	1599.75	187.45	1599.32	192.40	1558.17	192.45	1557.77	197.40	1518.71	197.45	1518.32
187.50	1598.89	187.55	1598.47	192.50	1557.36	192.55	1556.96	197.50	1517.94	197.55	1517.55
187.60	1598.04	187.65	1597.62	192.60	1556.55	192.65	1556.15	197.60	1517.17	197.65	1516.78
187.70	1597.19	187.75	1595.76	192.70	1555.75	192.75	1555.34	197.70	1516.40	197.75	1516.02
187.80	1596.34	187.85	1595.91	192.80	1554.94	192.85	1554.54	197.80	1515.63	197.85	1515.25
187.90	1595.49	187.95	1595.06	192.90	1554.13	192.95	1553.73	197.90	1514.87	197.95	1514.49
188.00	1594.64	188.05	1594.22	193.00	1553.33	193.05	1552.93	198.00	1514.10	198.05	1513.72
188.10	1593.79	188.15	1592.52	193.10	1552.52	193.15	1551.12	198.10	1513.34	198.15	1512.96
188.20	1592.95	188.25	1592.52	193.20	1551.72	193.25	1551.32	198.20	1512.58	198.25	1512.19
188.30	1592.10	188.35	1591.68	193.30	1550.92	193.35	1550.52	198.30	1511.81	198.35	1511.43
188.40	1591.26	188.45	1590.83	193.40	1550.12	193.45	1549.72	198.40	1511.05	198.45	1510.67
188.50	1590.41	188.55	1589.99	193.50	1549.32	193.55	1548.91	198.50	1510.29	198.55	1509.91
188.60	1589.57	188.65	1589.15	193.60	1548.51	193.65	1548.11	198.60	1509.53	198.65	1509.15
188.70	1588.73	188.75	1588.30	193.7	1547.72	193.75	1547.32	198.70	1508.77	198.75	1508.39
188.80	1587.88	188.85	1587.46	193.80	1546.92	193.85	1546.52	198.80	1508.01	198.85	1507.63
188.90	1587.04	188.95	1586.62	193.90	1546.12	193.95	1545.72	198.90	1507.25	198.95	1506.87
189.00	1598.20	189.05	1585.78	194.00	1545.32	194.05	1544.92	199.00	1506.49	199.05	1506.12
189.10	1585.36	189.15	1584.95	194.10	1544.53	194.15	1544.13	199.10	1505.74	199.15	1505.36
189.20	1584.53	189.25	1584.11	194.20	1543.73	194.25	1543.33	199.20	1504.98	199.25	1504.60
189.30	1583.69	186.35	1583.27	194.30	1542.94	194.35	1542.54	199.30	1504.23	199.35	1503.85
189.40	1582.85	189.45	1582.44	194.40	1542.14	194.45	1541.75	199.40	1503.47	199.45	1503.10
189.50	1582.02	189.55	1581.60	194.50	1541.35	194.55	1540.95	199.50	1502.72	199.55	1502.34
189.60	1581.18	189.65	1580.77	194.60	1540.56	194.65	1540.16	199.60	1501.97	199.65	1501.59
189.70	1580.35	189.75	1579.93	194.70	1539.77	194.75	1539.37	199.70	1501.21	199.75	1500.84
189.80	1579.52	189.85	1579.10	194.80	1538.98	194.85	1538.58	199.80	1500.46	199.85	1500.09
189.90	1578.69	189.95	1578.27	194.90	1538.19	194.95	1537.79	199.90	1499.71	199.95	1499.34
190.00	1577.86	190.05	1577.44	195.00	1537.40	195.05	1537.00	200.00	1498.96	200.05	1498.59
190.10	1577.03	190.15	1576.61	195.10	1536.61	195.15	1536.22	200.10	1498.21	200.15	1497.84
190.20	1576.20	190.25	1575.78	195.20	1535.82	195.25	1535.43	200.20	1497.46	200.25	1497.09
190.30	1575.37	190.35	1574.95	195.30	1535.04	195.35	1534.64	200.30	1496.71	200.35	1496.34
190.40	1574.54	190.45	1574.13	195.40	1534.25	195.45	1533.86	200.40	1495.97	200.45	1495.60
190.50	1573.71	190.55	1573.30	195.50	1533.47	195.55	1533.07	200.50	1495.22	200.55	1494.85
190.60	1572.89	190.65	1572.48	195.60	1532.68	195.65	1532.29	200.60	1494.48	200.65	1494.11
190.70	1572.06	190.75	1571.65	195.70	1531.90	195.75	1531.51	200.70	1493.73	200.75	1493.36
190.80	1571.24	190.85	1570.83	195.80	1531.12	195.85	1530.72	200.80	1492.99	200.85	1492.62
190.90	1570.42	190.95	1570.01	195.90	1530.33	195.95	1529.94	200.90	1492.25	200.95	1491.88



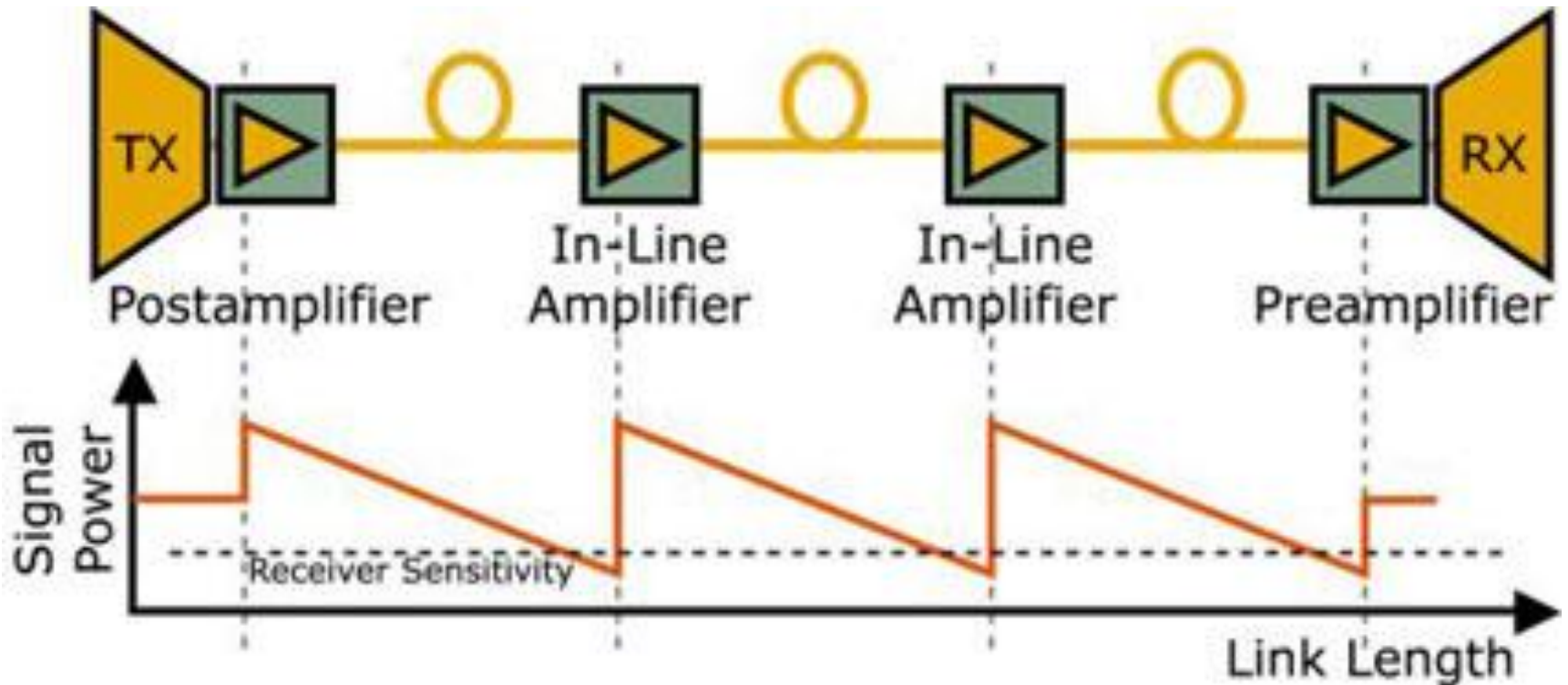
# ***DWDM Mux-Demux***



# *ADM Óptico*

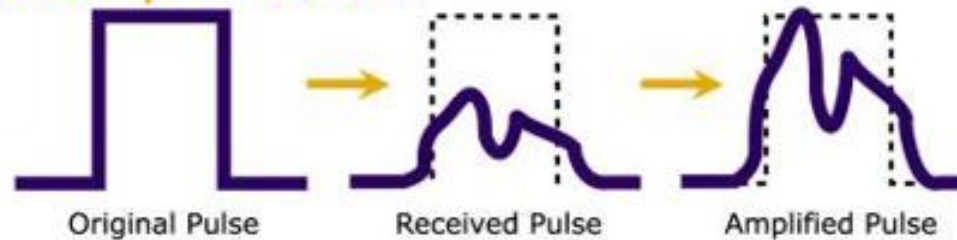


# *Amplificación Óptica*

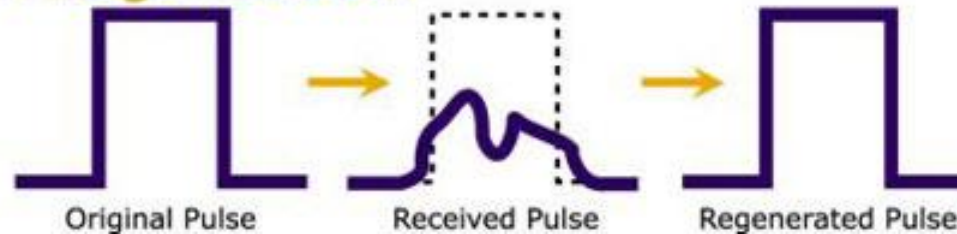


# ***Regeneración***

## 1R Amplification



## 3R Regeneration



- Reshaping
- Retiming
- Reamplification
- O-E-O operation

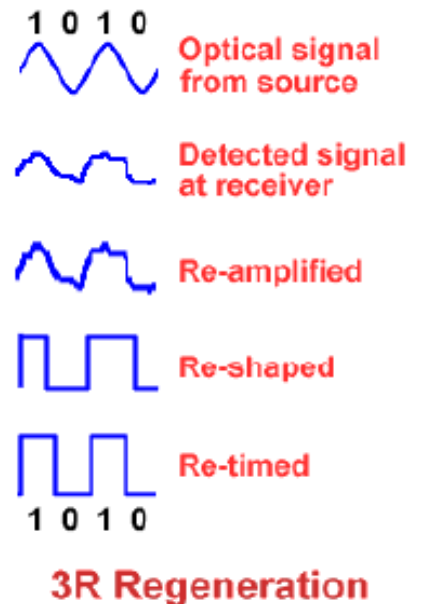
# 1R – 3R

La luz deja la fuente claramente definida como 1 o 0. Después de viajar algunos kilómetros estos pulsos se ven alterados. Pérdida de potencia, ruido, sincronismo.

- La pérdida de potencia se puede compensar con amplificación.
- Para corregir el ruido se utiliza el re-shaping. Proceso eléctrico que limpia la señal y la convierte en 1 y 0.
- El proceso final es el re-timing. El tiempo entre bits es rígido en la fuente, pero al recibirlos no lo es. La electrónica se encarga de ajustar el bit rate y colocar los bits en iguales periodos de tiempo.

Estos tres procesos se conocen como “3R regeneration” (re-amplification, re-shaping, and re-timing)

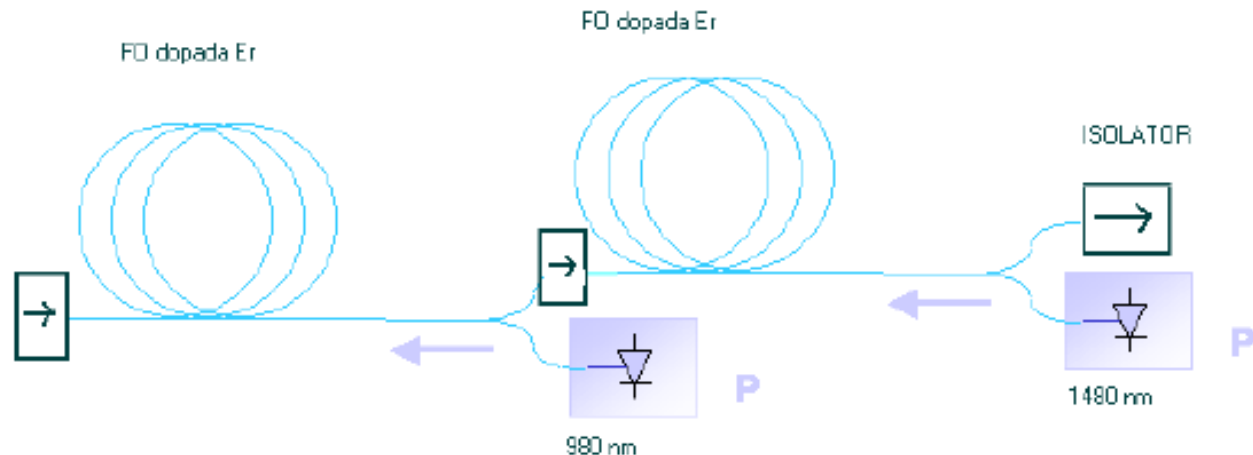
1R re-amplification. Sin convertir la luz en corriente eléctrica. Puede ser en el medio del sistema (EDFAs).



# EDFA

- Laser pump 1480 nm : Eficiencia en potencia. Baja atenuación para bombeo a distancia.
- Laser pump 980 nm: Noise performance
- Erbium - doped fiber
- Isolators

La bomba de 980 nm excita los iones de Erblio a un estado energético más elevado que la bomba de 1480 nm. Los iones solo están en este estado por un corto periodo de tiempo (nseg) antes de moverse al siguiente estado. En este permanecen (mseg). Esto es mayor que los excitados por la bomba de 1480nm. Cuando mayor tiempo permanezcan excitados es más probable que la señal ingrese y cause emisión estimulada. Esto reduce la no deseada emisión espontanea que agrega ruido al sistema.





# EDFA

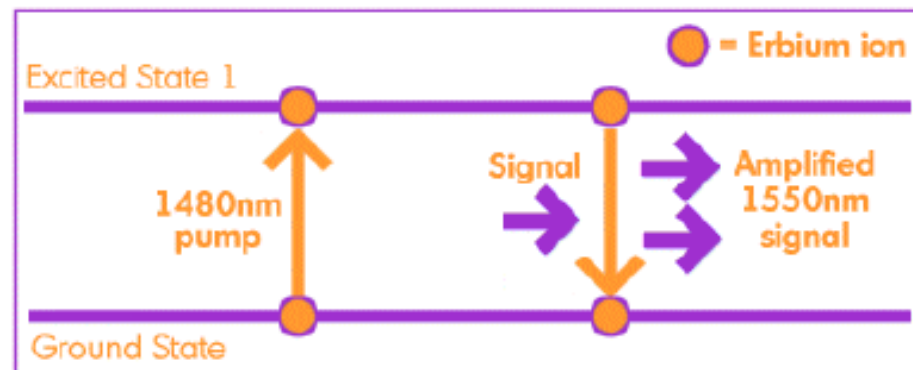
Un erbium doped fiber amplifier (EDFA) consiste en **pocos metros de fibra dopada**. La señal óptica entra en esta fibra, a lo largo de ésta viaja con otra longitud de onda “**bomba**” que esta diseñada par excitar los iones de Erbio.

El Erbio tiene varios niveles de energía. Los iones se pueden excitar con una bomba de 1480 nm (primer estado de excitación). Cuando pasan nuevamente al estado no excitado los iones tienen algo de energía extra que liberan en forma de fotón (emisión espontanea). Esta emisión espontanea se conoce como ASE (no deseado).

Si una señal de 1550 nm entra esta puede causar que algunos iones excitados decaigan y liberen fotones. Los fotones emitidos son de la misma long de onda que la señal y son parte de esta. La señal tiene ahora mas fotones y entonces se amplifico.

Esto ocurre para long de onda alrededor de 1550nm: 1530nm - 1580nm, “C-band” (Conventional-band) 1580nm - 1610nmL-band (Long-band).

La amplificación al diferentes long de onda puede variar y es complejo el diseño para conseguir “gain flattening.”





# RAMAN

Principio de Raman scattering: Una bomba de longitud de onda inferior viajando en la fibra con la señal, interactúa con los átomos en la FO, pierde energía en los átomos y continúa con la misma longitud que la señal. La señal tiene fotones adicionales, es amplificada.

No se requiere fibra dopada. Se llama amplificación distribuida porque ocurre a lo largo de la fibra de transmisión.

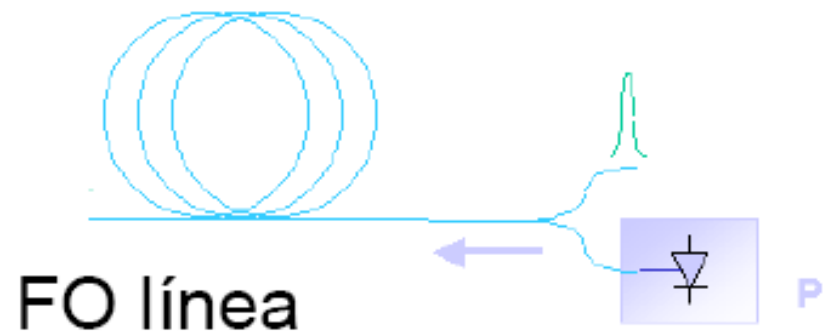
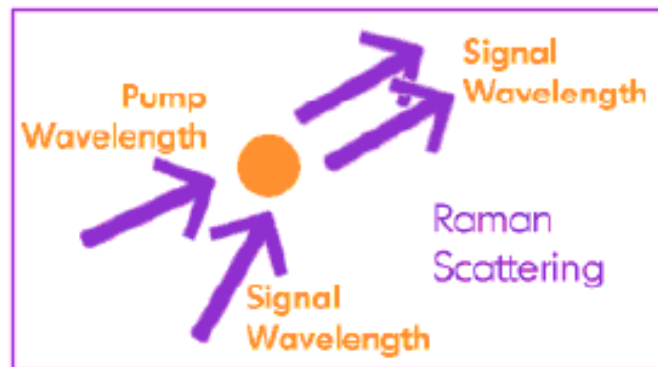
Se puede realizar el bombeo desde el principio, final o desde ambos lados de la FO.

Co-pumping (inicio)

Counter-pumping (fin)

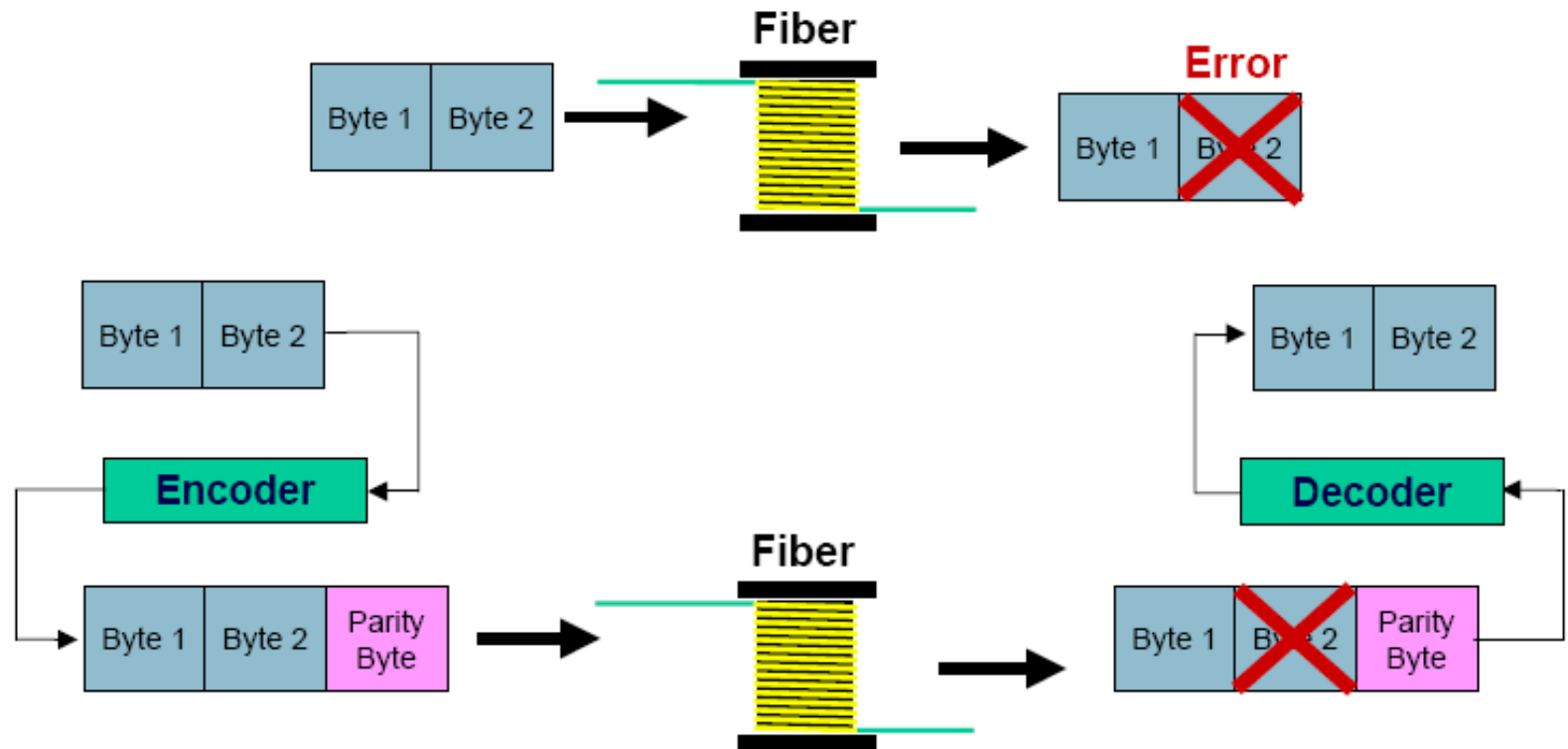
Co-counter (ambos)

Varias longitudes de onda se requieren en DWDM para mantener plana la respuesta.



# FEC

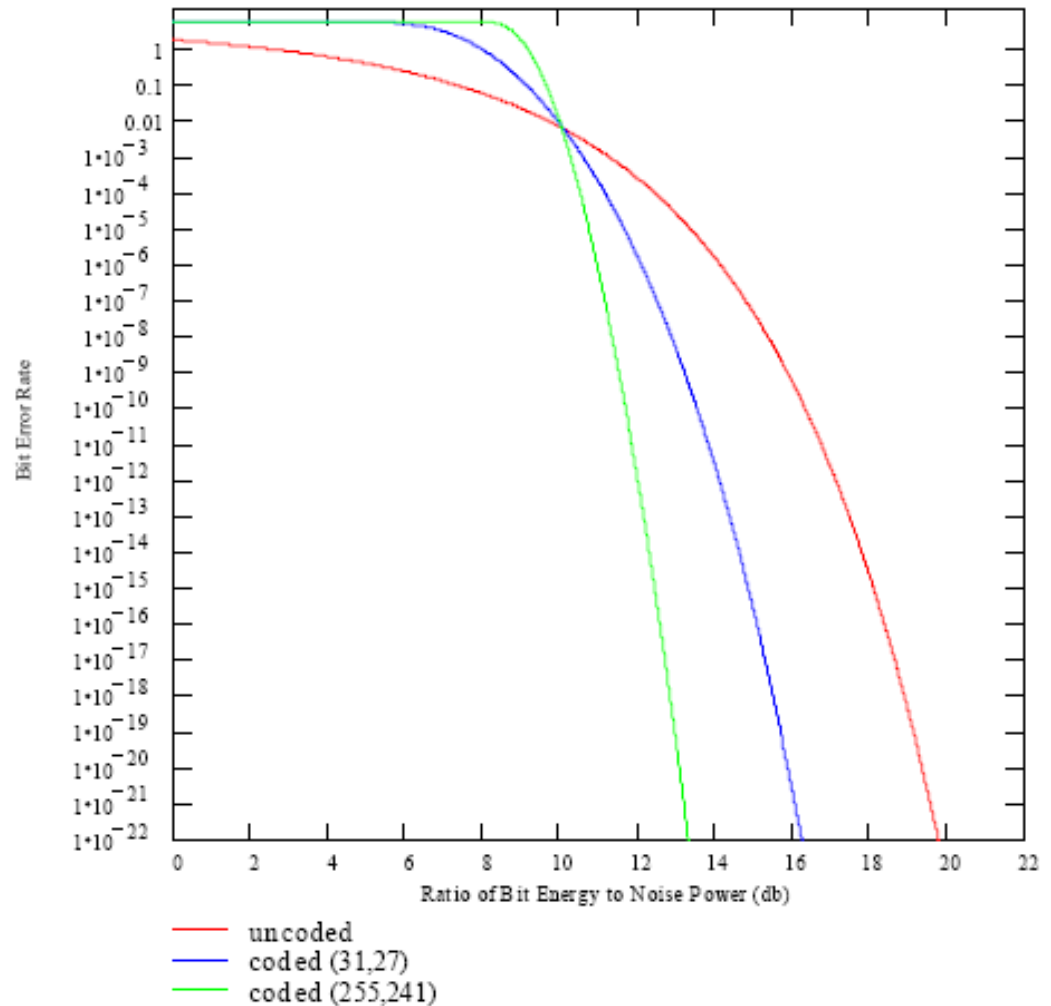
**Forward Error Correction: addition/interleaving de ancho de banda redundante en el flujo de datos permitiendo la corrección de errores durante la recepción de los datos.**



# FEC

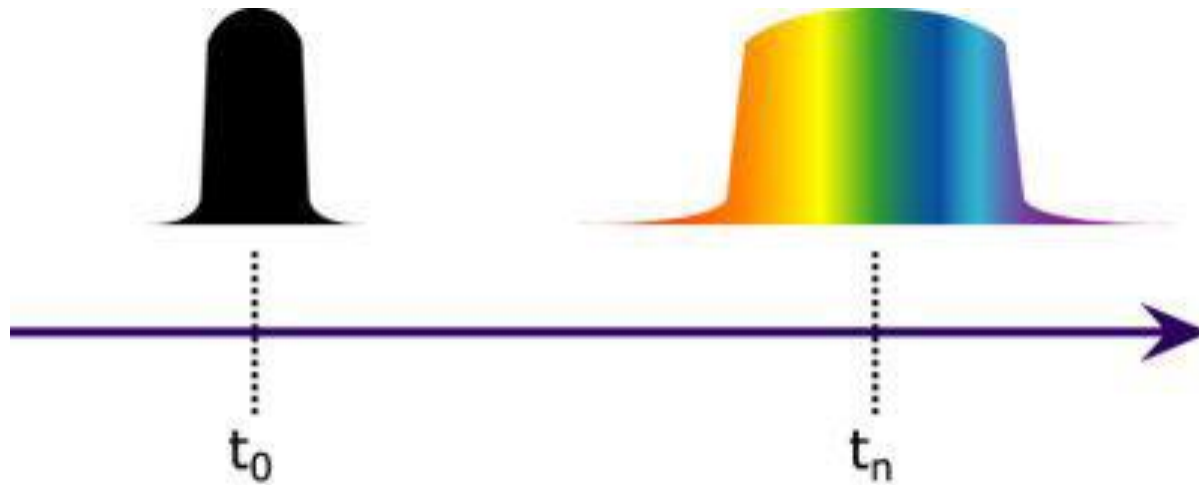
El FEC en transmisiones ópticas permite mayores distancias y mayor capacidad.

Mejora la confiabilidad del sistema agregando margen



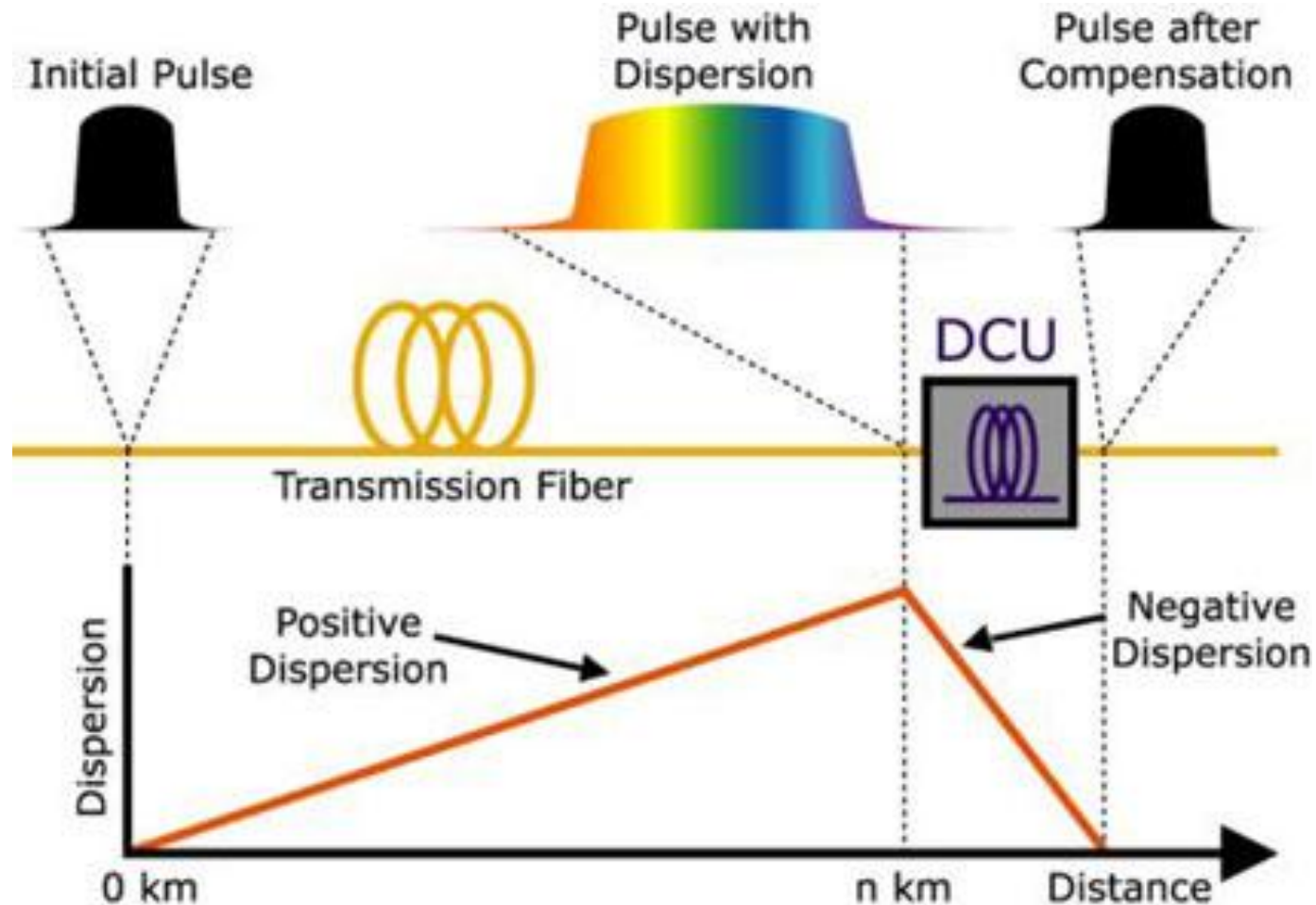
# ***Imperfecciones en DWDM***

## ***Dispersión Cromática***



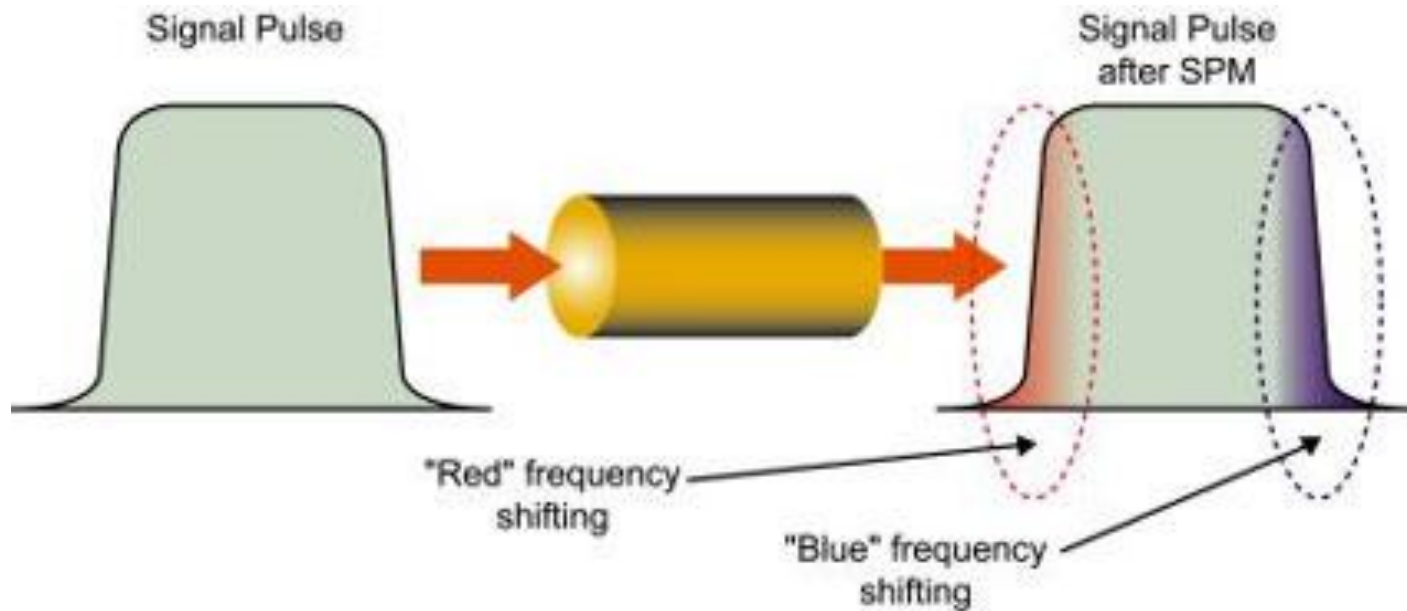
El índice de refracción de la fibra varía con la longitud de onda causando que las diferentes componentes del espectro sufran retardos distintos distorsionando el pulso y aumentando en consecuencia la Pe.

# *Compensación de Dispersión*



# ***Imperfecciones en DWDM***

## ***Self-phase modulation***

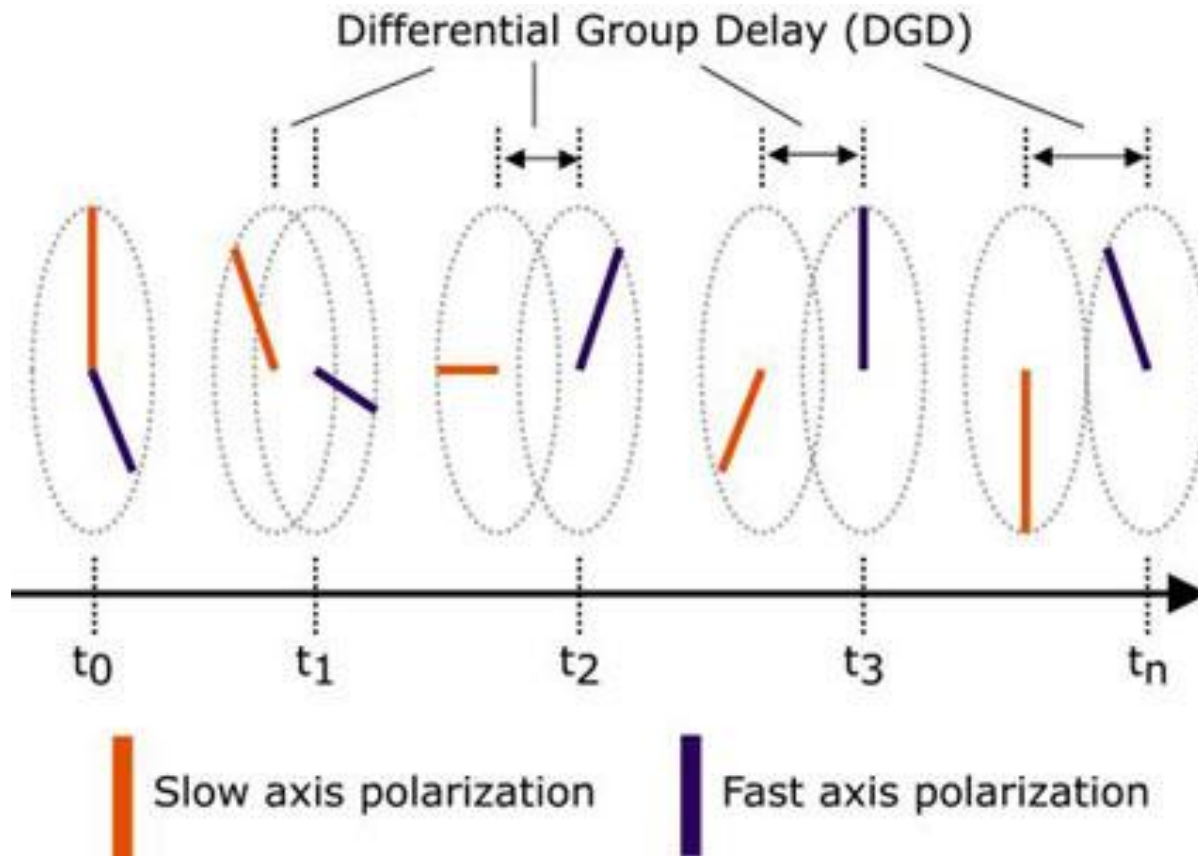


Efecto Kerr: el índice de refracción varía con la potencia de la señal

Este efecto en presencia de dispersión produce distorsiones del pulso

# ***Imperfecciones en DWDM***

## ***Polarization Mode Dispersion -PMD***

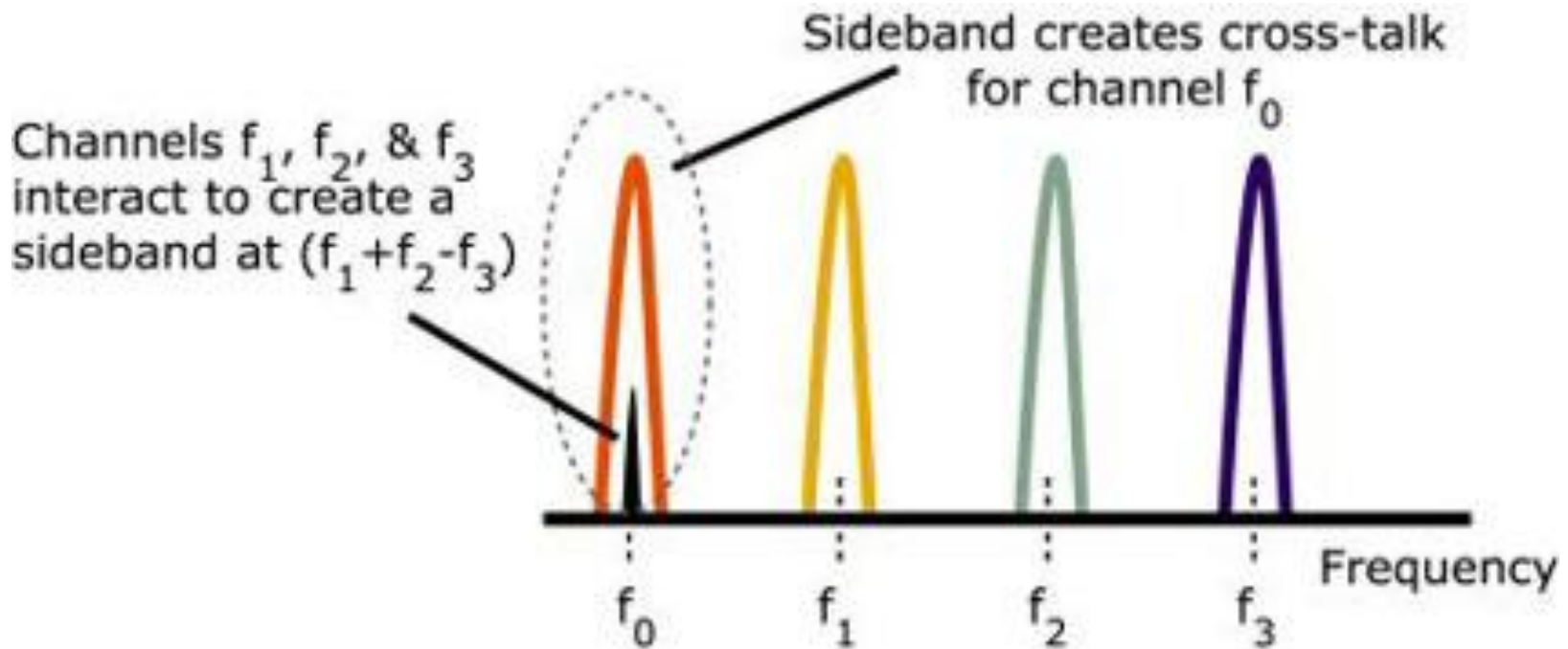


PMD varia en el tiempo (depende de las imperfecciones de la fibra)  
Distorsiona el pulso. Es una limitación a bit rate superiores a 10 Gb/s



# ***Imperfecciones en DWDM***

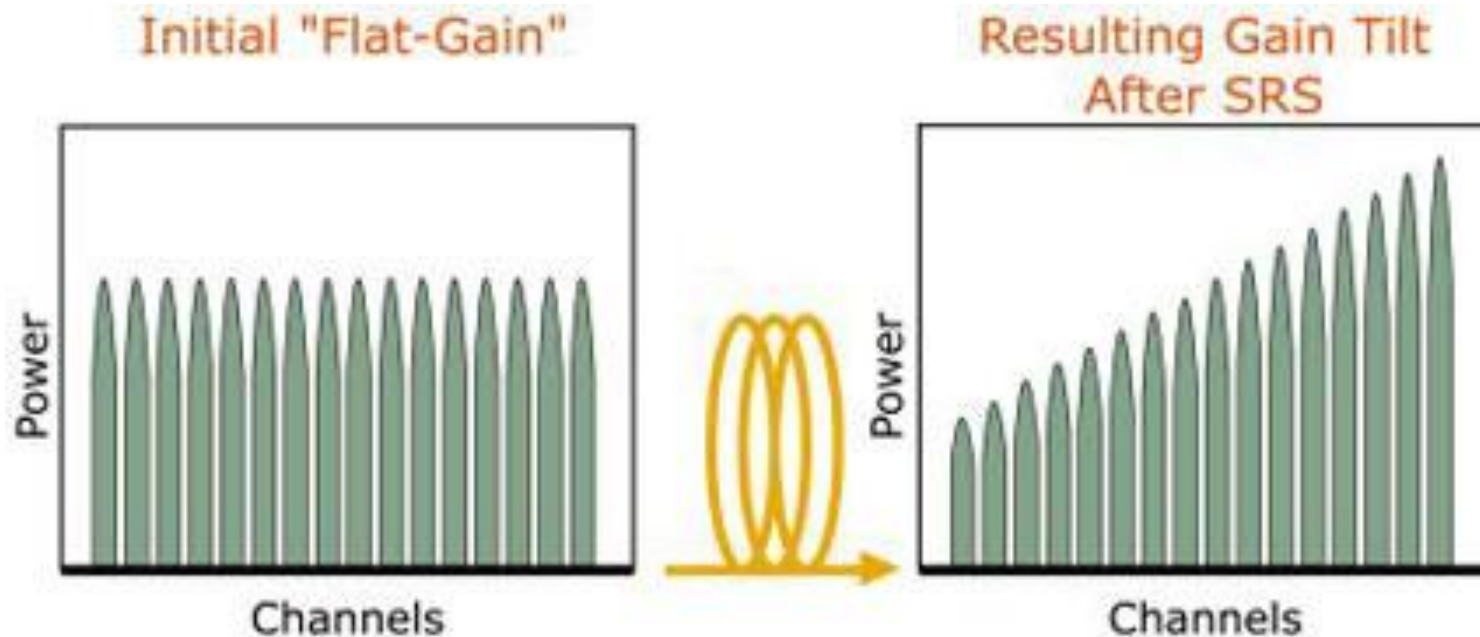
## ***Four Wave Mixing***



Los efectos del FWM son más notables alrededor del punto de dispersión cero de la fibra

# ***Imperfecciones en DWDM***

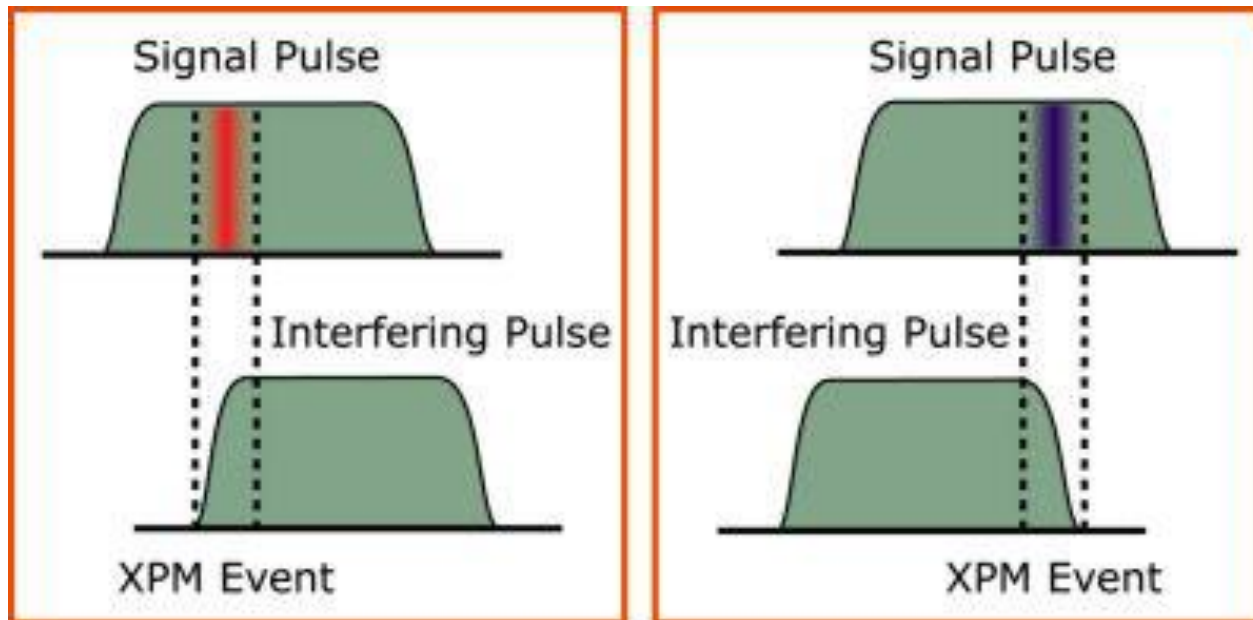
## ***Estimated Raman Scatering***



El efecto SRS se hace más notable a medida que se incrementa la separación entre canales haciéndose máximo a 13.2 THz

# ***Imperfecciones en DWDM***

## ***Cross-Phase Modulation***



El índice de refracción de la fibra varia con la potencia óptica de la señal (efecto Kerr) produciendo variaciones de fase en los otros canales que pueden resultar en distorsiones del pulso.

# *DWDM LIMITACIONES*

## **Propagación**

- Acumulación de ruido de los amplificadores (ASE)
- Dispersión cromática
- FWM
- Efectos de polarización PMD

## **Aspectos tecnológicos**

- Estabilidad de los láser de canal
- estabilidad de los filtros
- Uniformidad de la ganancia de los amplificadores

# ***El Futuro Cercano***

- STM 256 (40 Gb/s)
- G.709 Optical Transport Network
- Conmutación Óptica
- GMPLS (un standard del plano de control unificado para la provisión de BW en redes ópticas)